

MARIA BEATRIZ FAGUNDES GOVÊA PIZZO

**O EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS SOBRE A
PROPAGAÇÃO DO CANTO DE ANÚNCIO DE ANUROS DA CAATINGA E
MATA ATLÂNTICA – MONOGRAFIA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

João Pessoa

2022

MARIA BEATRIZ FAGUNDES GOVÊA PIZZO

**O EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS SOBRE A
PROPAGAÇÃO DO CANTO DE ANÚNCIO DE ANUROS DA CAATINGA E
MATA ATLÂNTICA**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas (Trabalho Acadêmico de Conclusão de Curso), como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel (Licenciado) em Ciências Biológicas pela Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Oliveira Mesquita
Coorientador: Prof. MSc. Arielson dos Santos Protázio

João Pessoa

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

Pizzoe Pizzo, Maria Beatriz Fagundes Govea.

O efeito das mudanças climáticas futuras sobre a propagação do canto de anúncio de anuros da Caatinga e Mata Atlântica / Maria Beatriz Fagundes Govea Pizzo. - João Pessoa, 2022.

40 p. : il.

Orientação: Daniel Oliveira Mesquita.

Coorientação: Arielson dos Santos Protázio.

TCC (Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas) - UFPB/CCEN.

1. Aquecimento global. 2. Anuros. 3. Absorção atmosférica. I. Mesquita, Daniel Oliveira. II. Protázio, Arielson dos Santos. III. Título.

UFPB/CCEN

CDU 57(043.2)

MARIA BEATRIZ FAGUNDES GOVÊA PIZZO

**O EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS SOBRE A
PROPAGAÇÃO DO CANTO DE ANÚNCIO DE ANUROS DA CAATINGA E
MATA ATLÂNTICA**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel (Licenciado) em Ciências Biológicas pela Universidade Federal da Paraíba.

Data: 01/12/2022

Resultado: APROVADA

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Daniel Oliveira Mesquita, UFPB



Prof. Dr. Frederico Gustavo Rodrigues França, UFPB



Dr. Washington Luiz Silva Vieira, UFPB

AGRADECIMENTOS

Isso pode soar um pouco narcisista, mas eu gostaria de começar agradecendo a mim mesma. Primeiramente por ter escolhido a Biologia, ou melhor, ter me entregado a ela, e segundo por ter dado o meu melhor nesses cinco anos de curso, onde quase dois deles foram cursados no meio de uma pandemia. Me agradecer por nunca ter desistido, apesar dos desânimos e dificuldades que naturalmente encontrei nessa trajetória acadêmica (e na vida como um todo).

Agradeço também à minha família, que nunca questionou a minha escolha. Em especial a minha mãe Patrícia e meu pai Anderson, que sempre me incentivaram a estudar, principalmente o que eu gosto, e por serem o meu ponto de apoio. A minha avó Delfina, que mora a mais de 2 mil quilômetros de distância, e em uma ligação percebendo que eu estava aflita me acolheu e disse que tudo ficaria bem. Quero agradecer também aos meus colegas de curso e bioamigos, principalmente a Bianca, Regina e Vinícius, com quem sempre pude contar e trocar risadas, desespero, lamentações, surtos e momentos muito bons, mas MUITO bons mesmo, os quais sempre levarei no meu coração.

O pessoal do meu laboratório (CHUFPB) também contribuiu demais na minha formação, e eu tenho a certeza de que se a turma não fosse tão legal, eu provavelmente não teria começado a estagiar na Coleção Herpetológica, e conseqüentemente, me apaixonado pelos répteis e anfíbios, grupo pelo qual optei por me especializar. Um agradecimento especial ao Fagner (que sempre me socorreu) e a Izabel, por ter me levado ao meu primeiro campo herpetológico, onde coletei girinos. Meu MUITO OBRIGADA também vai para o meu querido orientador Daniel, que me acolheu ainda no segundo período e me deu várias oportunidades maravilhosas durante a graduação. E eu não posso deixar de agradecer ao Arielson, que sempre foi um amor de pessoa, excelente professor e co-orientador, com quem aprendi demais!

Quero agradecer também ao Sci-Hub e ResearchGate que nunca me decepcionaram em uma busca por artigo, e a todos os pesquisadores que me cederam seus artigos científicos na íntegra quando solicitei. E por último agradeço ao biólogo Diego Cavalheri, que disponibilizou algumas horas do seu dia para me ensinar a fazer mapa no QGIS, inclusive esse mapa que consta aqui na monografia.

RESUMO

O aquecimento global é um problema atual que afeta todos os seres vivos do planeta, em especial os ectotérmicos como os anfíbios anuros. A temperatura influencia diretamente o comportamento acústico desses indivíduos, que utilizam do canto de anúncio para a comunicação e seleção de parceiros reprodutivos. O presente estudo tem como objetivo investigar o efeito do clima sobre a propagação do canto de anúncio de anuros, comparando os biomas da Caatinga e Mata Atlântica em projeções climáticas futuras. A comparação global das absorções atmosféricas da propagação do canto entre os cenários climáticos revelou uma diferença significativa entre a Caatinga e Mata Atlântica, em todos os períodos (dados históricos, 2040 e 2080), sendo a Caatinga o bioma que apresentou os maiores valores de absorção atmosférica do som. Além disso, quando comparamos os ambientes e cenários climáticos individualmente para cada espécie, em doze das catorze espécies estudadas, a absorção atmosférica foi maior na Caatinga e apenas duas espécies não demonstraram diferenças. Dentre 14 espécies, *Physalaemus cuvieri* e *Rhinella granulosa* foram as espécies que apresentaram aumento significativo na absorção atmosférica do som em todos os cenários climáticos e ambos os biomas, sendo maior na Caatinga. Isso demonstra que algumas espécies são mais suscetíveis a terem a propagação do seu canto de anúncio comprometida, possivelmente afetando a comunicação e reprodução.

Palavras-chave: Aquecimento global. Anuros. Absorção atmosférica.

ABSTRACT

Global warming is a current problem that affects all living beings on the planet, especially ectotherms, such as anurans. Temperature directly influences the acoustic behavior of these individuals, who use the advertisement call for communication and selection of reproductive partners. The present study aims to investigate the effect of climate change on the propagation of anuran advertisement calls, comparing the Caatinga and Atlantic Forest biomes in future climate projections. The global comparison of atmospheric absorptions between the climate scenarios revealed that there is a significant difference ($p < 0.05$) between the Caatinga and Atlantic Forest, in all periods (historical data, 2040 and 2080), and the Caatinga presented the higher values of atmospheric sound absorption. In addition, when we compared the biomes and climate scenarios individually for each species, we found that, twelve of the fourteen species studied, atmospheric absorption was higher in the Caatinga and only two species had no difference. Among 14 species, *Physalaemus cuvieri* and *Rhinella granulosa*, showed a significant increase in atmospheric sound absorption in all climate scenarios and both biomes, being higher in Caatinga. This demonstrates that some species are more susceptible to having the propagation of their advertisement call compromised, possibly affecting their communication and reproduction.

Keywords: Global warming. Anurans. Atmospheric absorptions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Alguns habitats de coleta dos dados acústicos de anuros. A) Poça temporária, Sento Sé, Bahia; B) Riacho temporário, Uibaí, Bahia; C) Poça temporária, Sento Sé, Bahia; (D) Cachoeira do Piroca, Iraquara, Bahia.....31

Figura 2 – Gráfico da absorção atmosférica global da Caatinga (CA) e Mata Atlântica (MA) nos diferentes cenários climáticos ($p < 0,05$).....32

Figura 3 – Localidades de coleta dos dados acústicos dos anuros da Caatinga (1. Picuí, 2. Araruna, 3. Jacobina, 4. Serrolândia, 5. Uibaí, 6. Iraquara, 7. Souto Soares, 8. Irecê, 9. Jussara, 10. Redenção do Gurguéia, 11. Sento Sé, 12. Campo Formoso, 13. São Raimundo Nonato).....33

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Frequência dominante das espécies de anuros distribuídas na Caatinga e Mata Atlântica.....	34
Tabela 2 – Comparação global da média da absorção atmosférica do som de todas as espécies da Caatinga e Mata Atlântica em cada cenário climático.....	35
Tabela 3 – Absorção atmosférica do som de anuros da Caatinga em diferentes cenários climáticos.....	36
Tabela 4 - Absorção atmosférica do som de anuros da Mata Atlântica em diferentes cenários climáticos.....	38

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

AAH: Hipótese da Adaptação Acústica

ONU: Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2. REFERÊNCIAS.....	14
3. O EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS SOBRE A PROPAGAÇÃO DO CANTO DE ANÚNCIO DE ANUROS DA CAATINGA E MATA ATLÂNTICA.....	16
3.1 Introdução.....	16
3.2 Objetivos.....	18
3.3 Materiais e métodos.....	18
3.3.1 Área de estudo.....	18
3.3.2 Coleta de dados.....	19
3.3.3 Análise.....	21
3.4 Resultados.....	22
3.5 Discussão.....	24
3.6 Conclusão.....	26
3.7 Bibliografia.....	27
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diversos estudos têm indicado um aquecimento constante da temperatura da Terra na última década, levando pesquisadores do mundo todo a investigarem as consequências desse fenômeno sobre a biota (WALTHER et al., 2002; PARMESAN, 2006). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), entidade da Organização das Nações Unidas (ONU), responsável por avaliar e monitorar o aquecimento do planeta, tem revelado uma grande influência da atividade humana sobre o clima, sendo o elevado aumento da emissão de CO₂ e outros gases do efeito estufa os principais responsáveis. Além disso, o aumento do desmatamento e poluição do ar também contribuem diretamente para o aquecimento global (PEREIRA et al., 2010), colocando em xeque o modelo de desenvolvimento econômico e estilo de vida da humanidade como prejudiciais à conservação da natureza.

De acordo com Hoffmann et al. (2008), os anfíbios anuros são hoje os vertebrados mais ameaçados do planeta, devido sobretudo, ao aquecimento global e seus efeitos sobre a biologia desses organismos. Os anuros são animais que apresentam uma série de restrições fisiológicas que os tornam extremamente sensíveis as variações climáticas, fazendo com que pequenas alterações ambientais possam promover a perda de ambientes estáveis à sua sobrevivência. Primeiro, são seres ectotérmicos, ou seja, não produzem e nem controlam a sua temperatura corporal através do metabolismo oxidativo, necessitando de um meio externo para a regulação térmica (DUELLMAN; TRUEB, 1994). Segundo, apresentam uma pele altamente vascularizada e respiração cutânea, necessitando de ambientes úmidos para a sua sobrevivência. Por fim, apresentam um complexo comportamento reprodutivo, fazendo uso de sinais acústicos destinados à atração e conquista de parceiros reprodutivos (ROSENTHAL et al., 2004; HODL; AMÉZQUITA, 2001; WELLS, 2010), o qual pode ser afetado pelo clima.

O canto de anúncio dos anuros exerce um relevante papel na seleção sexual, sendo utilizado pelas fêmeas para decodificar informações sobre a qualidade do seu parceiro (RAND, 1985), bem como é capaz de mediar as interações agonísticas e conquista de território entre os machos (GERHARDT, 1994; GIVEN, 1999).

Vários estudos têm demonstrado que fatores ambientais e sociais podem influenciar as variáveis do canto (WELLS, 1977; WAGNER, 1989). A variação de temperatura do ambiente pode afetar a capacidade de produção e recepção do sinal acústico, assim como pode alterar alguns parâmetros temporais e espectrais do canto, como o número e distância de pulsos e notas, a taxa de repetição do canto e as faixas de frequência (LLUSIA et al., 2013; NARINS et al., 2014). Portanto, o clima se configura como um importante fator ambiental que atua diretamente

na conservação e velocidade da propagação do som (SUEUR et al., 2019), afetando drasticamente o alcance e qualidade da comunicação intraespecífica (LAROM et al., 1997), e, em última análise, capaz de afetar a reprodução dos anuros.

Apesar do grande impacto e velocidade das mudanças climáticas induzidas pelas ações humanas sobre a biota (McCARTHY et al., 2001; ALLEY et al., 2003), surpreendentemente ainda existem poucos estudos que buscam investigar os efeitos do clima nos sistemas de sinalização acústica dos animais (SNELL-ROOD, 2012), o que limita nossa capacidade de compressão dos reais efeitos do aquecimento global sobre esse atributo biológico. Assim, estudos destinados a analisar os aspectos da interação entre clima e sinal acústico são bem-vindos, visto que possibilitarão um entendimento mais preciso sobre quais espécies são mais vulneráveis aos efeitos do aquecimento global.

2 REFERÊNCIAS

- ALLEY, R. B., MAROTZKE, J., NORDHAUS, W. D., OVERPECK, J. T., PETEET, D. M., PIELKE, R. A., PIERREHUMBERT, R. T., RHINES, P. B., STOCKER, T. F., TALLEY, L. D., WALLACE, J. M. **Abrupt climate change**. *Science* v. 299, n. 5615, p. 2005–2010, 2003.
- DUELLEMAN, W. E., TRUEB, L. **Biology of Amphibians**. JHU press, 1994.
- GERHARDT, H. C. **The Evolution of Vocalization in Frogs and Toads**. *Annual review of ecology and systematics*, p. 293-324, 1994.
- GIVEN, M. F. **Frequency alteration of the advertisement call in the carpenter frog, *Rana virtigapes***. *Herpetologica* p. 304-317, 1999.
- HODL, W., AMÉZQUITA, A. **Visual signaling in anuran amphibians**. *Anuran communication*, p. 121-141, 2001.
- HOFFMAN, M., STUART, S. N., CHANSON, J. S., COX, N. A., BERRIDGE, R. J., RAMANI, P. e YOUNG, B. E. **Threatened amphibians of the world**. NatureServe, Conservation International, 2008.
- LAROM, D., GARSTANG, M., PAYNE, K., RASPET, R., LINDEQUE, M. **The influence of surface atmospheric conditions on the range and area reached by animal vocalizations**. *The Journal of Experimental Biology*, v. 200, n. 3, p. 421-431, 1997.
- LLUSIA, D., BELTRAN, J. F., AMARAL, J. P. S., MARQUEZ, R., BENITEZ, M. **Calling behaviour under climate change: geographical and seasonal variation of calling temperatures in ectotherms**. *Global change biology*, v. 19, n. 9, p. 2655-2674, 2013.
- MCCARTHY, J., CANZIANAI, O., LEARY, N., DOKKEN, D., and WHITE, K. **Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 1–1042, 2001.
- NARINS, P. M.; MEENDERINK, S. WF. **Climate change and frog calls: long-term correlations along a tropical altitudinal gradient**. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 281, n. 1783, p. 20140401, 2014.
- PARMESAN, C. **Ecological and evolutionary responses to recent climate change**. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37, 637–69, 2006.
- PEREIRA, H. M., LEADLEY, P. W., PROENÇA, V., ALKEMADE, R., SCHARLEMANN, J. P., FERNANDEZ-MANJARRES, J. F., WALPOLE, M. **Scenarios for global biodiversity in the 21st century**. *Science*, v. 330, 6010, p. 1496-1501, 2010.
- RAND, A. S. **Tradeoffs in the evolution of frog calls**. *Proceedings: Animal Sciences*, v. 94, n. 6, p. 623-637, 1985.
- ROSENTHAL, G. G., RAND, A. S., RYAN, M. J. **The vocal sac as a visual cue in anuran**

communication: an experimental analysis using video playback. *Animal Behaviour*, v. 68, n. 1, p. 55-58, 2004.

SNELL-ROOD, E. C. **The effect of climate on acoustic signals: does atmospheric sound absorption matter for bird song and bat echolocation?** *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 131, n. 2, p. 1650-1658, 2012.

SUEUR, J., KRAUSE, B., FARINA, A. **Climate change is breaking Earth's beat.** *Trends in ecology & evolution*, v. 34, n. 11, p. 971-973, 2019.

WAGNER, W. E., JR. **Graded aggressive signals in Blanchard's cricket frog: vocal responses to opponent proximity and size.** *Animal Behaviour*, London, v. 38, n. 6, p. 1025-1038, 1989.

WALTHER, G. R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T. J. C., FROMENTIN, J. M., BAIRLEIN, F. **Ecological responses to recent climate change.** *Nature*, v. 416, n. 6879, p. 389-395, 2002.

WELLS, K. D. **The social behaviour of anuran amphibians.** *Animal Behaviour*, London, v. 25, p. 666- 693, 1977.

WELLS, K. D. **The ecology and behavior of amphibians.** University of Chicago Press, 2010.

3 ARTIGO CIENTÍFICO

O EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS SOBRE A PROPAGAÇÃO DO CANTO DE ANÚNCIO DE ANUROS DA CAATINGA E MATA ATLÂNTICA

Maria Beatriz F. G. Pizzo¹, Arielson dos Santos Protázio¹, Gabriel David Moura¹,
Daniel O. Mesquita¹

¹ Laboratório de Herpetologia, Departamento de Sistemática e Ecologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil.

3.1 Introdução

O aquecimento global é um problema atual que afeta todos os seres vivos do planeta, independente do bioma e ecossistema (PARMESAN, 2006; SINERVO et al. 2010; WALTHER et al., 2002). Apesar disso, estudos destinados a investigar os efeitos do aquecimento sobre a biota são particularmente abundantes no hemisfério norte, revelando uma expressiva redução de investigações dessa natureza nos trópicos (COLWELL et al., 2008; IPCC, 2007; PARMESAN et al., 2007; ROSENZWEIG et al., 2008).

Leadley (2010) sugere que as mudanças climáticas decorrentes de ações antropogênicas (THOMAS, 2004) podem se tornar a maior ameaça global à biodiversidade nas próximas décadas, superando até mesmo a destruição de habitats. De acordo com as previsões do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), no início do século XXII ocorrerá um aumento entre 1,8 e 4°C na temperatura média global. Dados como esse são preocupantes, e estabeleceram o consenso de estarmos vivendo uma emergência climática (RIPPLE et al., 2019). Diante desse cenário, os organismos buscam sobrevivência por meio de respostas compensatórias naturais, como a dispersão e adaptação (SINERVO et al., 2010).

Os anuros são vertebrados ectotérmicos e que apresentam a pele permeável, fina e exposta, ovos sem casca e ciclos de vida complexos, envolvendo uma fase larval aquática (LI et al., 2013). Essas características tornam os anuros sensíveis às mudanças de temperatura e precipitação do ambiente (DUELLMAN; TRUEB, 1993). Assim, o clima pode afetar diversos aspectos da biologia desses organismos, como a taxa de crescimento e desenvolvimento, o tempo de forrageamento e o sucesso reprodutivo (DEUTSCH et al., 2008; LI et al., 2013). Os anuros possuem um complexo repertório comportamental destinado à reprodução, fazendo uso de sinais visuais, químicos ou acústicos para a atração e conquista de parceiros (AMEZQUITA,

2001; HODL; WELLS, 2007; ROSENTHAL et al., 2004). Dentro dos sinais acústicos, o canto de anúncio pode ter sua produção, recepção e propagação acústica seriamente afetada pelo aumento da temperatura, o que pode também afetar a comunicação vocal dos indivíduos (FARINA, 2013; NARINS; MEENDERINK, 2014; SNELL-ROOD, 2012; YAMAGUCHI et al., 2008). Sendo assim, um aumento na temperatura decorrente do aquecimento global pode amplificar a absorção atmosférica do som de frequências de mais baixas, atenuando e reduzindo a qualidade do sinal. Por outro lado, pode haver um aumento nas frequências mais altas, a depender da pressão atmosférica e umidade relativa do ambiente (FARINA, 2013).

Embora ainda exista uma escassez de informações acerca da tolerância térmica dos anfíbios (LI; COHEN; ROHR, 2013), um aumento na temperatura pode exceder os limites de sua resistência fisiológica desses animais, sobretudo, as espécies que vivem em ambientes xéricos e que já podem estar no limiar de sua plasticidade termorregulatória (SIMON; RIBEIRO; NAVAS, 2015). Como consequência das mudanças climáticas, as espécies podem deixar de se adaptar ao conjunto de condições ambientais do seu habitat, ficando excluídas do seu nicho climático (BELLARD et al., 2012). Dillon (2010) demonstra que o aquecimento durante as últimas três décadas teve seus maiores impactos na taxa metabólica de organismos viventes nas zonas tropicais e temperadas do hemisfério Norte. Além disso, estudos empregando uma abordagem fisiológica e biofísica têm indicado que seres ectotérmicos tropicais, como os anuros, são particularmente vulneráveis ao aquecimento global (DEUTSCH et al., 2008; SINERVO et al., 2010; WAKE; VREDENBURG et al., 2008). De acordo com a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN 2013), os anfíbios neotropicais apresentam a maior taxa de espécies ameaçadas, com evidências de declínios populacionais, já que é um grupo severamente afetado pelas mudanças climáticas e aquecimento global (POUNDS et al., 2006).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) o Semiárido brasileiro (Caatinga) será a região do país mais afetada negativamente pelas mudanças climáticas. Projeções indicam um aumento da aridez e desertificação na região, com maior severidade dos episódios de seca (MARENGO et al., 2017), sendo um dos locais do mundo com previsão de elevado risco de extinção para animais ectotérmicos, em virtude do aquecimento global (SINERVO et al., 2010). A maioria desses organismos terrestres vivem em áreas tropicais ou desérticas (KEARNEY et al., 2009). HUEY et al., (2014) demonstrou que uma elevação na temperatura média global pode causar um aumento da competição e predação de animais ectotérmicos de ambientes abertos, o que influenciaria negativamente espécies florestais que, conseqüentemente, apresentariam um desequilíbrio na cadeia alimentar.

Com elevada riqueza e endemismo, a Mata Atlântica é considerada o bioma brasileiro com maior diversidade de modos reprodutivos de anuros, além de ser um ambiente altamente fragmentado pela ação humana (HADDAD et al., 2005; HADDAD et al., 2013; RIBEIRO et al., 2009; WHILES et al., 2006). Além da fragmentação causada pelo desmatamento, as mudanças climáticas em curso e previstas constituem um segundo fator de ameaça à biodiversidade desse bioma (ALEIXO et al., 2010). Para a América do Sul, a elevação nas temperaturas e um aumento no período das estações secas poderão aumentar a frequência de estiagens sazonais provocadas pelo fenômeno El Niño, contribuindo para incêndios cada vez mais frequentes e intensos, predominantemente em biomas florestais (MARENGO et al., 2009). Prever a resposta da biodiversidade frente às mudanças climáticas tem sido um campo de pesquisa extremamente explorado por pesquisadores do mundo todo (BEAUMONT et al., 2011; DILLON et al., 2010; PEREIRA et al., 2010). Alertar a sociedade e os responsáveis por políticas públicas sobre potenciais riscos futuros é um meio de contribuir para o desenvolvimento de estratégias para a redução dos impactos das mudanças climáticas na biodiversidade (PARMESAN et al., 2011; PEREIRA et al., 2010). Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo investigar o efeito do clima sobre a propagação do canto de anúncio de algumas espécies de anuros. Para isso, nós consideramos uma abordagem comparativa entre um ambiente aberto seco e aberto (Caatinga) e um ambiente florestado úmido (Mata Atlântica), ambos ocorrendo no leste do continente sul-americano. Acreditamos que o canto dos anuros que habitam a Caatinga sofrerá maior impacto na propagação decorrente de uma maior absorção atmosférica em cenários climáticos futuros, enquanto os anuros que habitam a Mata Atlântica podem ter sua propagação acústica afetada pelas mudanças climáticas de forma mais branda.

3.2 Objetivos

- (1) Verificar o efeito das mudanças climáticas sobre a propagação do canto de anúncio de anuros comparando espécies da Caatinga e Mata Atlântica;
- (2) Verificar a existência de variação nos níveis de absorção atmosférica do som sobre o canto de anúncio das diferentes espécies nos cenários climático atual e do futuro;

3.3 Materiais e métodos

3.3.1 Área de estudo

A Caatinga é um ambiente semiárido caracterizado por apresentar uma baixa umidade relativa do ar, altas temperaturas, intensa sazonalidade no regime de chuvas e uma vegetação

adaptada ao clima seco, sendo um bioma considerado severo para anfíbios anuros (NAVAS et al., 2004). Apesar disso, esse bioma conta com uma grande diversidade de espécies, sendo reconhecidas, até então, cerca de 98, distribuídas em 12 famílias (GARDA et al., 2018). A Caatinga é considerada pelo Ministério do Meio Ambiente como um dos grandes biomas brasileiros, abrangendo 844 mil km² (SILVA et al., 2004). Como único bioma exclusivamente brasileiro, ocupa uma área de 734 km² (10% do território nacional), cobrindo a maior parte dos estados da região Nordeste e parte do nordeste do estado de Minas Gerais.

A Mata Atlântica é uma das maiores florestas tropicais das Américas (RIBEIRO et al., 2009), e originalmente se estendia do Nordeste, partindo do estado do Rio Grande do Norte, até o sul do Brasil, ao longo da costa do país, fator este que fez esse ser o primeiro tipo de vegetação a ser explorado pelos portugueses no início do século 16 (DEAN, 1996). É considerada um dos 25 hotspots mundiais de biodiversidade (MYERS et al., 2000; MITTERMEIER et al., 2004), além de ser uma das áreas prioritárias para conservação (CÂMARA, 2005; GALINDO-LEAL). No Brasil, esse bioma abrange 17 estados, sendo considerado o segundo maior bioma tropical do continente americano (TABARELLI et al., 2005), constituído pelas formações do tipo Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional e ecossistemas associados (manguezais, campos de altitude e restingas).

3.3.2 Coleta de dados

Dados acústicos foram coletados para anuros da Caatinga e da Mata Atlântica, que possuem ampla distribuição pelo Brasil. Machos cantores foram identificados, a partir de buscas ativas ao redor dos corpos d'água permanentes e temporários (rios, lagos, riachos e poças), utilizando a pesquisa acústica (HEYER et al., 1994). De cada macho cantor visualizado foi registrado o canto de anúncio utilizando um gravador digital Tascan® DR-5x e DR40, acoplados a um microfone direcional Sennheiser® ME 66 e Rode® NTG1, respectivamente, e com frequências de amostragem de 48 kHz a 24 bits de resolução. Os microfones foram posicionados a aproximadamente 1 m dos machos cantores e os cantos foram analisados no programa Raven Pro® 1.6 (*Universidade de Cornell*), onde espectrogramas foram construídos usando FFT com 512 amostras e janela do tipo Hann. A frequência dominante (Hz) de cada espécie foi mensurada, e como o canto é um caráter conservativo dentro de cada espécie de anuro (WELLS, 1977), a existência de diferenças nos parâmetros acústicos ao longo de um gradiente geográfico é um forte indício da influência ambiental sobre esse traço biológico.

Dados climáticos (temperatura do ar e umidade relativa do ar) de cada local de ocorrência das espécies de anuros foram coletados para o presente (dados históricos) e para os anos de 2040 e 2080. Para isso foi feita a obtenção de dados do local de ocorrência das espécies por localidade ao longo da Caatinga e da Mata Atlântica, a partir das coordenadas geográficas (graus decimais) obtidas na base de dados do SpeciesLink (specieslink.cria.org.br), sistema que integra Museus e coleções científicas, a fim de disponibilizar informações de biodiversidade de maneira aberta, GBIF (Global Biodiversity Information Facility) e da Coleção Herpetológica da Universidade Federal da Paraíba.

Posteriormente, dados da média mensal da Temperatura Máxima e Temperatura Mínima (°C) de cada local de ocorrência das espécies foram obtidos na base de dados WordClim 2.1 (www.worldclim.org), com resolução espacial de $\sim 1 \text{ km}^2$ (30 segundos) (Fick; Hijmans, 2017). Os dados históricos representam um recorte espaço-temporal de 1970 a 2000, enquanto a projeção para o futuro representa um recorte de 2041 a 2060 e 2081 a 2100, estimadas pelo 6º Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC6). Para a projeção do futuro climático, utilizamos o modelo climático CanESM5, considerando um cenário mais pessimista (ssp585), provenientes dos Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (*Shared Socioeconomic Pathways*), em que são levados em consideração os níveis de emissão de CO² e outros gases do efeito estufa, bem como informações como o crescimento populacional, desenvolvimento econômico, educação, urbanização, taxa de desenvolvimento tecnológico e a adoção de políticas de mitigação do efeito do aquecimento (RIAHI et al., 2017). Em seguida, foi estimada a umidade relativa do ar (*UR*), definida como a razão entre a quantidade de água que o ar do ambiente retém e a quantidade de água que o ar poderia reter à mesma temperatura, de cada local de ocorrência das diferentes espécies, seguindo os procedimentos definidos por Allen et al. (1998). Para isso foi utilizada a seguinte fórmula:

$$UR = 100 \left(\frac{e_a}{e^0(T)} \right)$$

onde, *UR* é a umidade relativa do ar (%), e_a é a pressão de vapor atual (ou observado) e $e^0(T)$ é a pressão de vapor de saturação na temperatura (*T*). Para obter e_a consideramos a *Tmin* como uma aproximação da Temperatura do Ponto de Orvalho (*Torv*), definida como a temperatura que o ar precisa ser resfriado para se tornar saturado ($e_a = e^0(Torv) = Torv$), utilizando o fator de correção $k_0 = -2 \text{ °C}$ sobre a temperatura mínima (*Tmin*), para regiões áridas e semiáridas. O e^0 foi obtido (*T*) a partir da pressão de vapor de saturação (e_s), computada como a média entre

a pressão de vapor de saturação proveniente das médias da Temperatura Máxima $e^0 (Tmax)$ e das Temperaturas Mínimas $e^0 (Tmin)$. Valores de pressão de vapor de saturação proveniente das médias da Temperatura Máxima $e^0 (Tmax)$, da Temperatura Mínima $e^0 (Tmin)$ e da Temperatura do Ponto de Orvalho $e^0 (Torv)$ foram calculados através da fórmula:

$$e^0(T) = (e_s) = 0,6108 \exp\left(\frac{12,27 \times T}{T + 237,3}\right)$$

Os dados de pressão atmosférica (P) foram obtidos a partir da equação barométrica apresentada por Allen et al. (1998), que representa uma simplificação da lei dos gases ideais para uma atmosfera padronizada a 20 °C.

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293}\right)^{5,26}$$

onde, z é a elevação ao nível do mar. Para proceder com a obtenção desse cálculo, obtivemos os dados de elevação também do WorldClim, com resolução de ~1 km² (30 segundos). O programa QGIS 3.12 foi utilizado para extrair os dados climáticos e de elevação de cada local de ocorrência das diferentes espécies ao longo da Caatinga e Mata Atlântica. Como este estudo buscou verificar o efeito da atmosfera sobre a propagação do canto de anúncio de anuros da Caatinga e Mata Atlântica, foram selecionados apenas locais de ocorrência que ficam inseridos na área de abrangência desses biomas, baseado na delimitação da Caatinga e Mata Atlântica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). Para garantir isso, foi feita a inspeção visual dos arquivos de abrangência dos biomas, munidos com os dados de ocorrência das espécies, e excluída as localidades que se projetaram fora dos contornos e domínios.

3.3.3 Análise

O efeito da atmosfera sobre a propagação do canto de anúncio foi verificado através do cálculo do coeficiente de absorção atmosférica do som $\alpha(f)$ (ISO 9613- 1) experimentada pela espécie ao longo de sua distribuição na Caatinga e Mata Atlântica, a partir da fórmula:

$$\alpha(f) = 8,682f^2 \left(\left[1,84 \times 10^{-11} \left(\frac{Pa}{Pr}\right)^{-1} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1/2} \right] \times \left\{ 0,01275 \left[\exp\left(\frac{-2239,1}{T}\right) \right] \left[f_{rO} + \left(\frac{f^2}{f_{rO}}\right)^{-1} + 0,1068 \left[\exp\left(\frac{-3352,0}{T}\right) \right] \left[f_{rN} + \left(\frac{f^2}{f_{rN}}\right)^{-1} \right] \right\} \right)$$

onde, f é a frequência em Hz em que o coeficiente de atenuação do som será computado, Pa é a pressão atmosférica do local do registro acústico, Pr é a pressão atmosférica padronizada ao nível do mar (101,325 kPa), T é a temperatura ambiental no momento do registro acústico, T_0 é a temperatura ambiental de referência (293,15 K), f_{rO} é a frequência de relaxamento do oxigênio e f_{rN} é a frequência de relaxamento do nitrogênio no momento do registro acústicos. Estes dois últimos parâmetros são derivados da concentração molar do vapor d'água (h) e da umidade relativa do ar (UR), ambas em porcentagem (%), sendo obtidos através das fórmulas:

$$f_{rO} = \frac{Pa}{Pr} \left(24 + 4,04 \times 10^4 \frac{0,02 + h}{0,391 + h} \right)$$

$$f_{rN} = \frac{Pa}{Pr} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-1/2} \times \left(9 + 280(h) \exp \left\{ -4,170 \left[\left(\frac{T}{T_0} \right)^{-1/3} - 1 \right] \right\} \right)$$

Para este cálculo foram utilizadas as médias da frequência dominante do canto de anúncio de cada espécie e as médias da temperatura do ar em graus Celsius (Temperatura Máxima + Temperatura Mínima/2), umidade relativa do ar e pressão atmosférica provenientes dos dados macroespaciais obtidos de local de ocorrência das espécies. Os cálculos dos coeficientes de absorção atmosférica do som foram realizados através da rotina disponibilizada em Goerlitz (2018). Uma ANOVA foi executada para os dados que apresentaram uma distribuição normal a fim de verificar as diferenças entre a média da absorção atmosférica do som de cada espécie nos diferentes cenários climáticos (presente, 2041 e 2081). Para os dados que apresentaram uma distribuição não-normal, foi realizado um teste Kruskal-Wallis (com teste de significância a posteriori de Dunn). Além disso, também foi comparada a média de absorção atmosférica global (considerado os valores de absorção atmosférica de todos os indivíduos amostrados, ainda que de diferentes espécies) nos diferentes biomas e cenários climáticos. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa Past, com nível de significância de $p < 0,05$.

3.4 Resultados

Foram obtidas gravações acústicas de 14 espécies com ampla distribuição entre os dois ambientes, e foram analisados um total de 969 cantos. As informações acústicas de *Leptodactylus macrosternum* (20 cantos), *Physalaemus cicada* (40 cantos), *Rhinella granulosa* (34 cantos) e *Rhinella diptycha* (7 cantos) foram obtidas em campo, provenientes de expedições em três localidades: Municípios de Redenção do Gurguéia (PI) (9°27'22,2"S, 44°24'26"O),

Irecê (BA) (11°19'43,1''S, 41°52'00,5''O) e Jussara (BA) (11°02'54,9'', 41°58'08,5''O). As coletas foram realizadas durante o período chuvoso e tiveram duração de 31 dias em Redenção do Gurguéia (de 20 de novembro a 20 de dezembro de 2019) e de 10 dias em Irecê e Jussara (de 20 a 29 de janeiro de 2020). As informações acústicas de *Boana crepitans* (190 cantos), *L. troglodytes* (57 cantos), *Leptodactylus vastus* (20 cantos), *Pithecopus nordestinus* (11 cantos), *Physalaemus cicada* (40 cantos), *Physalaemus kroyeri* (13 cantos), *Rhinella granulosa* (6 cantos) e *S. pachycrus* (20 cantos) foram registradas em oito diferentes localidades: Uibaí (11°20'24''S, 42°7'56''O), Sento Sé (9°44'27''S, 41°52'48''O), Jacobina (11°10'50''S, 40°31'06''O), Serrolândia (11°24'57''S, 40°18'07''O), Souto Soares (12°5'21''S, 41°38'17''O) e Iraquara (12°14'53''S, 41°37'16''O), todas no estado da Bahia (Figura 1). Finalmente, as espécies *Boana crepitans* (10 cantos), *Dermatonotus muelleri* (15 cantos), *L. troglodytes* (30 cantos), *P. nordestinus* (10 cantos), *Pithecopus gonzagai* (43 cantos), *Physalaemus albifrons* (248 cantos), *Physalaemus cicada* (90 cantos), *Physalaemus cuvieri* (15 cantos) e *S. pachycrus* (50 cantos) tiveram o seu canto de anúncio registrados no Parque Estadual da Pedra da Boca, no município de Araruna (PB), na Reserva Ecológica Olho D'água das Onças localizada no município de Picuí (PB) e em Gameleira do Dida, Campo Formoso (BA) (Figura 3).

A análise dos parâmetros do canto das espécies revelou que há aquelas que vocalizam em faixas de frequências baixas (até 1 KHz) e altas (acima de 1 KHz). *Boana crepitans* possuiu uma média de frequência dominante igual a 763.33 Hz, enquanto *Dermatonotus muelleri* vocaliza na frequência média de 2099.48 Hz, *Leptodactylus macrosternum* em 594.31 Hz, *L. troglodytes* em 3088.47, *L. vastus* em 417.74 Hz, *Physalaemus albifrons* apresentou uma média de 2594.74 Hz na frequência dominante, *P. cicada* 3212.59 Hz, *P. cuvieri* 755.98 Hz, *P. kroyeri* 2549.53 Hz, *Pithecopus gonzagai* 2273.38 Hz, *P. nordestinus* 1854.04 Hz, *Rhinella granulosa* 2679 Hz, *R. diptycha* 562.50 Hz e *Scinax pachycrus* 3591.89 Hz (Tabela 1).

Os valores médios obtidos no cálculo da absorção atmosférica do som das espécies de anuros da Caatinga e Mata Atlântica para o período de 1970 a 2000 (dados históricos) foram iguais a 0,0104 e 0,0072, respectivamente. Para a projeção futura de 2041 a 2060 o valor médio da absorção atmosférica na Caatinga foi de 0,0111 e 0,0078 para a Mata Atlântica, e para 2081 a 2100 as absorções foram iguais a 0,0121 e 0,0085 (Tabela 2).

A comparação global das absorções atmosféricas entre os cenários climáticos revelou uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre a Caatinga e Mata Atlântica, em todos os períodos (dados históricos, 2040 e 2080) (Figura 2). O bioma semiárido apresentou os maiores valores de absorção atmosférica do som (Tabela 2), e a comparação entre os biomas e cenários

climáticos de forma individual para cada espécie, revelou que para a maioria das espécies a absorção atmosférica foi maior na Caatinga (Tabelas 3 e 4). Das 14 espécies apenas *Leptodactylus macrosternum* e *Physalaemus kroyeri* não apresentaram diferenças na absorção atmosférica do som entre a Caatinga e Mata Atlântica. *Rhinella granulosa* e *Physalaemus cuvieri* foram as espécies que apresentaram um aumento significativo da absorção atmosférica na Caatinga em todos os cenários climáticos, (dados históricos: $p = 0,00080$; 2041-2060: $p = 0,0002832$; 2081-2100: $p = 0,0000447$ para *R. granulosa* e dados históricos: $p = 0,00000000000000297$; 2041-2060: $p = 0,0000000000000216$; 2081-2100: $p = 0,0000000108$ para *P. cuvieri*) (Tabela 3 e 4).

3.5 Discussão

As absorções atmosféricas do som na Caatinga apresentaram uma diferença significativa quando comparadas com as absorções da Mata Atlântica em todos os períodos (dados históricos, 2040 e 2080) (Figura 2). O bioma semiárido foi o que apresentou os maiores valores de absorção atmosférica (Tabela 2), e a comparação feita entre os biomas e cenários climáticos de forma individual para cada espécie, revelou que para a maioria das espécies a absorção atmosférica foi maior na Caatinga (Tabelas 3 e 4). Dentre as 14 espécies, apenas *Rhinella granulosa* e *Physalaemus cuvieri* apresentaram uma absorção atmosférica maior na Caatinga em todas as projeções climáticas, e *Leptodactylus macrosternum* e *Physalaemus kroyeri* não apresentaram diferenças na absorção atmosférica do som entre a Caatinga e Mata Atlântica (Tabela 3 e 4).

Kearney et al. (2009) demonstrou que o impacto do aquecimento global nos seres ectotérmicos depende de fatores como disponibilidade de sombra provocada pela cobertura vegetal e da capacidade de alteração sazonal na reprodução. Assim, a Caatinga sendo um ambiente de paisagem majoritariamente aberta, alta sazonalidade, clima mais seco e com elevadas temperaturas, favorece a atenuação do canto de anúncio dos anuros decorrente de maiores taxas de absorção atmosférica, o que é corroborado com nossos resultados.

Deustch (2008) defende que é improvável que as espécies de anuros de ambientes tropicais consigam compensar os efeitos das mudanças climáticas por meio da aclimatação, adaptação, dispersão e plasticidade comportamental. Além disso, uma vegetação densa como a encontrada em boa parte do bioma faz com que os gradientes de temperatura e velocidade do vento sejam menores que os encontrados em ambientes abertos e secos, e não afetem a propagação da onda sonora, sendo a umidade o único fator que proporcionaria uma perda de

transmissão acústica em altas frequências (FARINA, 2013) enquanto a propagação do som na Caatinga tem como fatores a umidade, velocidade do vento e a temperatura, proporcionando portanto uma atenuação acústica maior.

Como a estrutura e complexidade dos sons produzidos pelos anuros são resultado de pressão evolutiva (FARINA, 2013), uma drástica alteração físico-ambiental decorrente das mudanças climáticas poderia alterar a conservação de características sonoras estabelecidas há muitos anos, uma vez que a absorção do som varia conforme a temperatura, umidade e frequência do canto, indivíduos ou mesmo espécies podem modificar a estrutura do sinal acústico devido as mudanças no clima, no espaço ou no tempo (SNELL-ROOD, 2011), prejudicando assim a comunicação entre os indivíduos. Sendo assim, os anuros apresentam fatores como estrutura física e mecanismos adaptativos na produção e transmissão do som, além de estratégias como redução da competição acústica e comportamentos específicos que contribuem para amenizar esses efeitos (FARINA, 2013). Ademais, a Hipótese da adaptação acústica (AAH) afirma que as modificações e alteração dos sinais acústicos estão diretamente relacionadas com as características do ambiente, onde as frequências dominantes e chamadas de longa distância seriam resultado da interação entre os animais e o meio, a fim de maximizar a eficiência dos sons emitidos. Sendo assim, diante de uma restrição e alteração ambiental, a frequência e a estrutura do canto podem ser modificadas, e a comunicação poderá ser afetada, como demonstrado no estudo.

Embora ainda exista uma escassez de informações acerca da tolerância térmica dos anfíbios (LI; COHEN; ROHR, 2013), estes dados mostram-se preocupantes para a conservação dos mesmos, visto que o aumento na temperatura pode exceder os limites de resistência fisiológica das espécies, sobretudo, as que vivem em ambientes xéricos e que já podem estar no limiar de sua plasticidade termorregulatória (SIMON; RIBEIRO; NAVAS, 2015).

3.6 Conclusão

Nossos resultados indicam que os anuros que habitam a Caatinga serão os mais afetados pelo aquecimento global, sofrendo um aumento da absorção atmosférica do som ao longo dos diferentes cenários climáticos, quando comparados com os anuros da Mata Atlântica. As projeções climáticas futuras demonstram um cenário preocupante, e que essas espécies correm o risco de terem sua comunicação prejudicada principalmente em épocas reprodutivas, onde as fêmeas usam o canto de anúncio emitido pelo macho para selecionar o seu parceiro em potencial.

Das 14 espécies estudadas, apenas duas não apresentaram diferenças na absorção atmosférica entre a Caatinga e Mata Atlântica. Além disso, as 12 espécies que evidenciaram aumento da absorção, tiveram os maiores valores na Caatinga. Nossos dados alertam para a possibilidade das mudanças climáticas e do aquecimento global afetarem a comunicação desses animais, promovendo a diminuição dos níveis de propagação do sinal acústico, com um possível efeito sobre o sucesso reprodutivo e manutenção populacional.

3.7 Bibliografia

- ALEIXO, A. L. P., ALBERNAZ, A. L., GRELLE, C. E. V., VALE, M. M., RANGEL, T. F. Mudanças Climáticas e a Biodiversidade dos Biomas Brasileiros: Passado, Presente e Futuro, 2010.
- BEAUMONT, L.J., PITMAN, A., PERKINS, S., ZIMMERMANN, N.E., YOCCOZ, N. G., THUILLER, W. Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 108, n. 6, p. 2306-2311, 2011.
- BELLARD, C., BERTELSMEIER, C., LEADLEY, P., COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, v. 15, n. 4, p. 365-377, 2012.
- COLWELL, R. K.; BREHM, G.; CARDELUS, C. L.; GILMAN, A. C.; LONGINO, J. T. Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science* 322, 258–261, 2008.
- DEAN, W. A ferro e fogo. [S.L.]: Companhia das Letras, 484 p., 1996.
- DILLON, M.E., WANG, G., HUEY, R.B. Global metabolic impacts of recent climate warming. *Nature*, 467, 704–706, 2010.
- DEUTSCH, C. A., TEWKSBURRY, J. J., HUEY, R. B., SHELDON, K. S., GHALAMBOR, C. K., HAAK, D. C., MARTIN, P. R. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 18, p. 6668-6672, 2008.
- DUELLMAN, W. E., TRUEB, L. *Biology of amphibians*. Baltimore: McGraw-Hill, 1994.
- EARLY, R., SAX, D. F. Analysis of climate paths reveals potential limitations on species range shifts. *Ecology Letters*, v. 14, n. 11, p. 1125-1133, 2011.
- FARINA, A. *Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications*. Springer Science & Business Media, 2013.
- FICK, S. E., HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017.
- GALINDO-LEAL, C. DE GUSMÃO CÂMARA, I. *Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas*. Fundação SOS Mata Atlântica, São Paulo; Conservação Internacional. Belo Horizonte, Brasil, p. 43-49, 2005.
- GARDA, A. A., STEIN, M. G., MACHADO, R. B., LION, M. B., JUNCÁ, F. A., NAPOLI, M. F. Ecology, biogeography, and conservation of amphibians of the Caatinga. In: *Caatinga*. Springer, Cham, p. 133-149, 2017.

- GOERLITZ, H. R. Weather conditions determine attenuation and speed of sound: Environmental limitations for monitoring and analyzing bat echolocation. *Ecology and Evolution*, 2018.
- HADDAD, C. F. B. TOLEDO, L. F., PRADO, C. P., LOEBMANN, D., GASPARINI, J. L., SAZIMA, I. *Guia dos Anfíbios da Mata Atlântica: diversidade e biologia*. Anolis Books, 2013.
- HADDAD, C. F. B., PADRO, C. P. Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *Bioscience*, [S.L.], v. 55, n. 3, p. 207, 2005.
- HUEY, R. B., SUNDAY, J. M., BATES, A. E., KEARNEY, M. R., COLWELL, R. K., DULVY, N. K., LONGINO, J. T. Thermal-safety margins and the necessity of thermoregulatory behavior across latitude and elevation. *Pnas*, 5610-5615, vol. 111 no. 15, 2014.
- IPCC. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge Univ. Press, 2007.
- KEARNEY, M., SHINE, R., PORTER, W. P. The potential for behavioral thermoregulation to buffer 'cold-blooded' animals against climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. 10, p. 3835-3840, 2009.
- LI, Y; COHEN, J. M.; ROHR, J. R. Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians. *Integrative Zoology*, v. 8, n. 2, p. 145-161, 2013.
- MARENGO J.A., NOBER, C. A., BETTS, R. A., COX, P. M., SAMPAIO, G., SALAZAR, L. Global warming and climate change in Amazonia. In: Keller M et al., (Ed.) *Amazonia and Global Change*. Washington DC: American Geophysical Union. v. 186, p. 262-273, 2009.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil - past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017.
- MCMENAMIN, S. K., HADLY, E. A., WRIGHT, C. K. Climatic change and wetland desiccation cause amphibian decline in Yellowstone National Park. *PNAS* 105, 16988–93, 2008.
- MITTERMEIER, R. A, GIL, P.R., HOFFMANN M., PILGRIM J., BROOKS J., MIITERMEIER C.G., LAMOURUX J., FONSECA G.A.B. *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. Cemex, Washington, DC, EUA. 392 p. 2004.
- MYERS N., MITTERMEIER R.A., MITTERMEIER C.G., FONSECA G. A. B., KENT J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.
- NAVAS, C. A.; ANTONIAZZI, M. M.; JARED, C. A. A preliminary assessment of anuran physiological and morphological adaptation to the Caatinga, a Brazilian semi-arid environment. *International Congress Series*, v. 1275, p. 298-305, 2004.

- NARINS, P. M.; MEENDERINK, S. WF. Climate change and frog calls: long-term correlations along a tropical altitudinal gradient. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 281, n. 1783, p. 20140401, 2014.
- OLIVEIRA, F. P., LINS, M. V. B., TABATCHNIK, N. Florestas: uma palavra, muitos valores. Recife: CPRH, 20 p. 2011.
- PARMESAN, C., DUARTE, C. M., POLOCZANSKA, E., RICHARDSON, A.J., SINGER, M.C. Overstretching attribution. *Nature Climate Change*, v. 1, n. 1, p. 2-4, 2011.
- PARMESAN, C. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global change biology*, v. 13, n. 9, p. 1860-1872, 2007.
- PEREIRA, H. M., LEADLEY, P. W., PROENÇA, V., ALKEMADE, R., SCHARLEMANN, J. P.W., FERNANDEZ-MANJARRES, J. F. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science*, v. 330, n. 6010, p. 1496-1501, 2010.
- POUNDS J. A., BUSTAMANTE M. R., COLOMA L. A., CONSUEGRA J. A., FODGEN M. P. L. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, v. 439, n. 7073, p. 161-167, 2006.
- POUNDS, J. A., FOGDEN, M. P. L., CAMPBELL, J. H. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*, v. 398, n. 6728, p. 611-615, 1999.
- RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., MARTENSEN, A. C., PONZONI, F. J., HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, [S.L.], v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.
- ROSENZWEIG, C., KAROLY, D., VICARELLI, M., NEOFOTIS, P., WU, Q., CASASSA, G., IMESON, A. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453, 353–357, 2008.
- RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., MARTENSEN, A. C., PONZONI, F. J., HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, [S.L.], v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.
- RIPPLE, W. WOLF, C., NEWSOME, T., MACÉ, M. World scientists' warning of a climate emergency. *BioScience*, 2019.
- ROSENTHAL, G. G., RAND, A. S., RYAN, M. J. The vocal sac as a visual cue in anuran communication: an experimental analysis using video playback. *Animal Behaviour*, v. 68, n. 1, p. 55-58, 2004.
- SNELL-ROOD, E. C. The effect of climate on acoustic signals: does atmospheric sound absorption matter for bird song and bat echolocation? *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 131, n. 2, p. 1650-1658, 2011.

- SILVA, E. C., NOGUEIRA, R. J. M. C., AZEVEDO, A. D., BRITO, J. Z., CABRAL, E. L. Aspectos ecofisiológicos em dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. *Revista Iheringia, Série Botânica* v. 59, p. 201-205, 2004.
- SIMON, M. N.; RIBEIRO, P. L.; NAVAS, C. A. Upper thermal tolerance plasticity in tropical amphibian species from contrasting habitats: implications for warming impact prediction. *Journal of Thermal Biology*, v. 48, p. 36-44, 2015.
- SINERVO, B., MILES, D., HEULIN, B., MÉNDEZ-DE-LA-CRUZ, F. R. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*, v. 328, n. 5980, p. 894-899, 2010.
- TABARELLI, M., PINTO L.P., SILVA J. M. C., HIROTA M. M., BEDÊ L.C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade* v. 1, n. 1, p. 132-138, 2005.
- TEWKSBRURY, J., HUEY, R. B. ECOLOGY: Putting the heat on Tropical animals. *Science*, v. 320, n. 5881, p. 1296-1297, 2008.
- THOMAS, C. D., CAMERON, A., GREEN, R. E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L. J., COLLINGHAM, Y. C., ERASMUS, B. F. N., SIQUEIRA, M. F., GRAINGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., VAN JAARVELD, A. S., MIDGLEY, G. F., MILES, L., ORTEGA-HUERTA, M. A., PETERSON, A. T., PHILLIPS, O. L., WILLIAMS, S. E. Extinction risk from climate change. *Nature*, v. 427, n. 6970, p. 145-148, 2004.
- WAKE, D. B., VREDENBURG, V. T. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. supplement_1, p. 11466-11473, 2008.
- WELLS, K. D. The social behaviour of anuran amphibians. *Animal Behaviour*, 25, p. 666-693, 1977.
- WELLS, K. D, SCHWARTZ, J. J. The Behavioral Ecology of Anuran Communication. In *Hearing and Sound Communication in Amphibians*, pp. 44–86. Springer New York, 2007.
- WHILES, M. R., LIPS, K. R., PRINGLE, C. M., KILHAM, S. S., BIXBY, R. J., BRENES, R., CONNELLY, S., COLON-GAUD, J. C., HUNTE-BROWN, M., HURYN, A. D. The effects of amphibian population declines on the structure and function of Neotropical stream ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 27-34, 2006.
- YAMAGUCHI, A., GOOLER, D., HERROLD, A., PATEL, S., PONG, W. W. Temperature dependent regulation of vocal pattern generator. *Journal of Neurophysiology*, v. 100, n. 6, p. 3134-3143, 2008.

Figuras e legendas

Figura 1. Alguns habitats de coleta dos dados acústicos de anuros. A) Poça temporária, Sento Sé, Bahia; B) Riacho temporário, Uibaí, Bahia; C) Poça temporária, Sento Sé, Bahia; (D) Cachoeira do Piroca, Iraquara, Bahia.

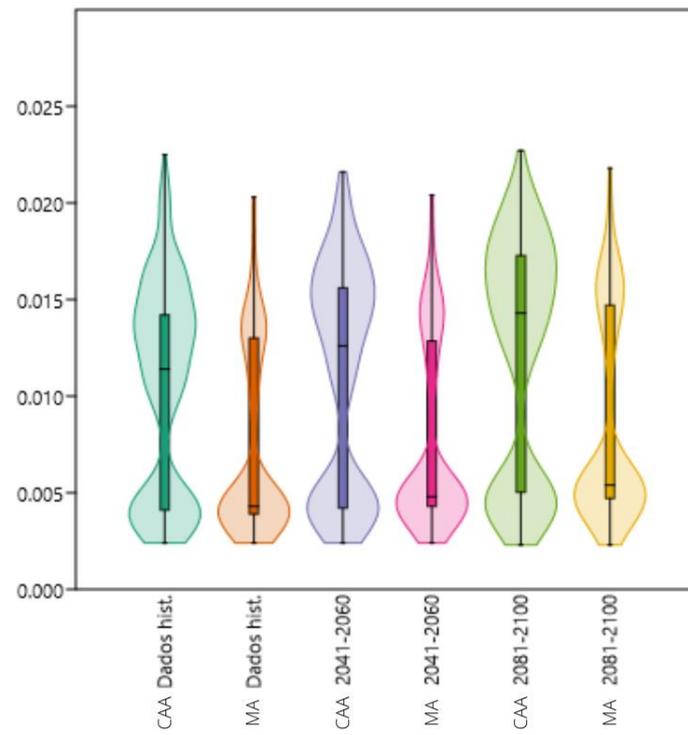


Figura 2. Absorção atmosférica global da Caatinga (CAA) e Mata Atlântica (MA) nos diferentes cenários climáticos ($p < 0,05$).

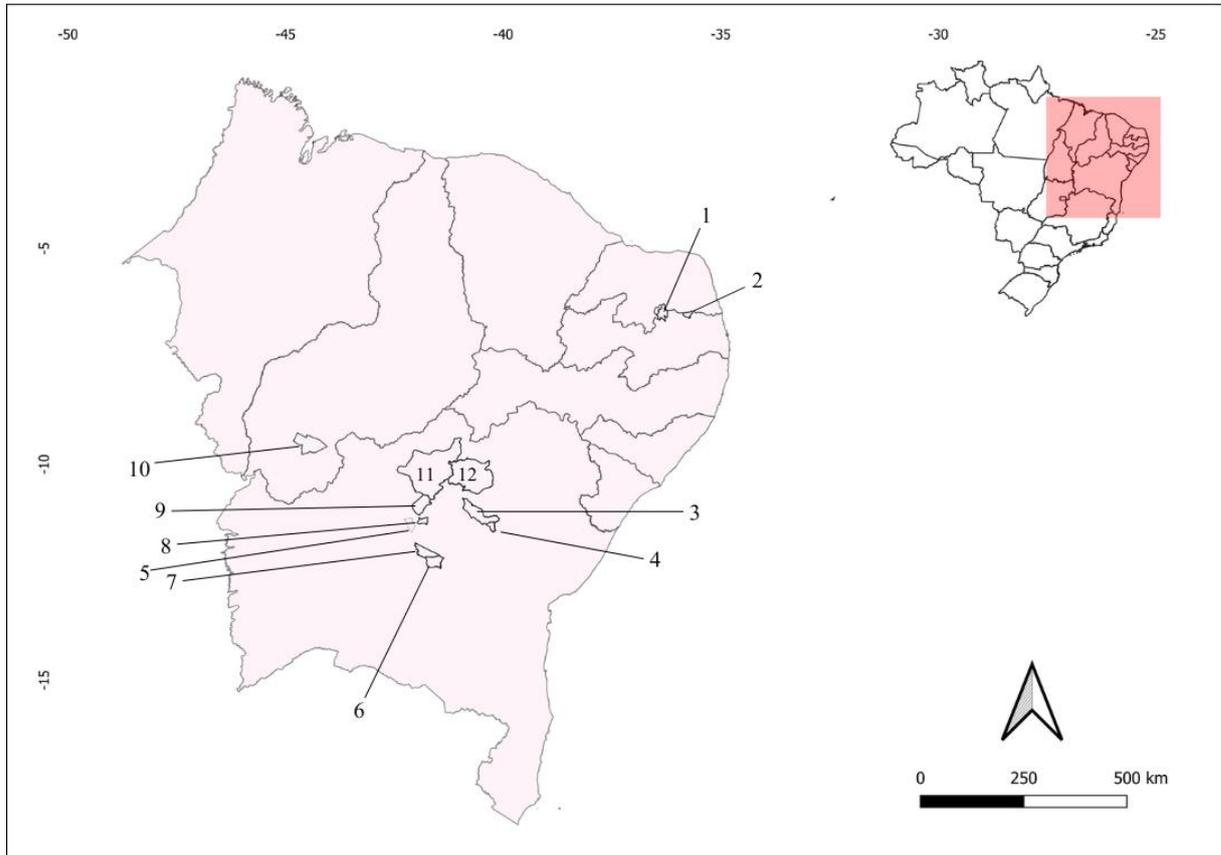


Figura 3. Localidades de coleta dos dados acústicos dos anuros da Caatinga (1. Picuí-PB, 2. Araruna-PB, 3. Jacobina-BA, 4. Serrolândia-BA, 5. Uibaí-BA, 6. Iraquara-BA, 7. Souto Soares-BA, 8. Irecê-BA, 9. Jussara-BA, 10. Redenção do Gurguéia-PI, 11. Sento Sé-BA, 12. Campo Formoso-BA).

Tabela 2. Comparação global da média da absorção atmosférica do som de todas as espécies da Caatinga e Mata Atlântica em cada cenário climático.

	Dados históricos		2041-2060		2081-2100	
	abs	desv. p	abs	desv. p	abs	desv. p
Caatinga	0,0104	0,005328	0,0111	0,005516	0,0121	0,006036
Mata Atlântica	0,0072	0,004704	0,0078	0,004824	0,0085	0,005260
p	0,001		0,001		0,001	

Tabela 3. Médias da absorção atmosférica do som de anuros da Caatinga em cada projeção futura (dados históricos, 2041-2060 e 2081-2100). Em negrito estão os valores que tiveram $p < 0,05$.

CAATINGA	Dados históricos		2041-2060		2081-2100	
	abs	desv. p	abs	desv. p	abs	desv. p
Família Bufonidae						
<i>Rhinella granulosa</i>	0,0138	0,00035	0,0148	0,000612	0,0164	0,000940
<i>Rhinella diptychai</i>	0,0035	0,00016	0,0038	0,000125	0,0039	0,000120
Família Hylidae						
<i>Boana crepitans</i>	0,0043	0,0002	0,0047	0,000195	0,0052	0,000205
<i>Scinax pachycrus</i>	0,0201	0,00067	0,0201	0,000447	0,0208	0,000555
Família Leptodactylidae						
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	0,0038	0,00017	0,0040	0,000141	0,0042	0,000128
<i>Leptodactylus troglodytes</i>	0,0161	0,00025	0,0168	0,000505	0,0182	0,000899
<i>Leptodactylus vastus</i>	0,0024	0,00005	0,0025	0,000704	0,0025	0,000117
<i>Physalaemus albifrons</i>	0,0138	0,00038	0,0148	0,000673	0,0163	0,001030
<i>Physalaemus cicada</i>	0,0166	0,00022	0,0174	0,000386	0,0188	0,000685
<i>Physalaemus cuvieri</i>	0,0047	0,00035	0,0051	0,000311	0,3667	0,000273
<i>Physalaemus kroyeri</i>	0,0129	0,00036	0,0138	0,000632	0,0152	0,000997
Família Microhylidae						
<i>Dermatonotus muelleri</i>	0,0108	0,00045	0,0119	0,0135	0,0135	0,000850

Família Phyllomedusidae

<i>Phitecopus gonzagai</i>	0,0115	0,00051	0,0125	0,000784	0,0140	0,001102
<i>Phitecopus nordestinus</i>	0,0094	0,00040	0,0104	0,000526	0,0119	0,000659

Tabela 4. Médias da absorção atmosférica do som de anuros da Mata Atlântica em cada projeção futura (dados históricos, 2041-2060 e 2081-2100). Em negrito estão os valores que tiveram $p < 0,05$.

MATA ATLÂNTICA	Dados históricos		2041-2060		2081-2100	
	abs	desv. p	abs	desv. p	abs	desv. p
Família Bufonidae						
<i>Rhinella granulosa</i>	0,0136	0,000203	0,0144	0,000340	0,0157	0,000560
<i>Rhinella diptycha</i>	0,0035	0,000198	0,0036	0,000083	0,0037	0,000089
Família Hylidae						
<i>Boana crepitans</i>	0,0042	0,000306	0,0046	0,000257	0,0046	0,000257
<i>Scinax pachycrus</i>	0,0195	0,000376	0,0199	0,000328	0,0208	0,000667
Família Leptodactylidae						
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	0,0038	0,000159	0,0040	0,000142	0,0042	0,000194
<i>Leptodactylus troglodytes</i>	0,0160	0,000207	0,0167	0,000531	0,0179	0,000983
<i>Leptodactylus vastus</i>	0,0024	0,000048	0,0024	0,000037	0,0023	0,000075
<i>Physalaemus albifrons</i>	0,0135	0,000445	0,0143	0,000748	0,0155	0,001084
<i>Physalaemus cicada</i>	0,0166	0,000221	0,0171	0,000505	0,0181	0,001002
<i>Physalaemus cuvieri</i>	0,0041	0,000372	0,0046	0,000354	0,0053	0,000325
<i>Physalaemus kroyeri</i>	0,0130	0,000488	0,0138	0,000765	0,0152	0,001115
Família Microhylidae						

<i>Dermatonotus muelleri</i>	0,0105	0,000460	0,0115	0,000641	0,0133	0,001088
Família Phyllomedusidae						
<i>Phitecopus gonzagai</i>	0,0117	0,000258	0,0127	0,000346	0,0141	0,000463
<i>Phitecopus nordestinus</i>	0,0096	0,000130	0,0105	0,000114	0,0118	0,000130

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossos resultados indicam que os anuros que habitam a Caatinga serão os mais afetados pelo aquecimento global, sofrendo um aumento da absorção atmosférica do som ao longo dos diferentes cenários climáticos, quando comparados com os anuros da Mata Atlântica. As projeções climáticas futuras demonstram um cenário preocupante, e que essas espécies correm o risco de terem sua comunicação prejudicada principalmente em épocas reprodutivas, onde as fêmeas usam o canto de anúncio emitido pelo macho para selecionar o seu parceiro em potencial.

Das 14 espécies estudadas, apenas duas não apresentaram diferenças na absorção atmosférica entre a Caatinga e Mata Atlântica. Além disso, as 12 espécies que evidenciaram aumento da absorção, tiveram os maiores valores na Caatinga. Nossos dados alertam para a possibilidade das mudanças climáticas e do aquecimento global afetarem a comunicação desses animais, promovendo a diminuição dos níveis de propagação do sinal acústico, com um possível efeito sobre o sucesso reprodutivo e manutenção populacional.

Portanto, é necessário que haja um monitoramento do efeito das mudanças climáticas na comunicação dos anuros, visto que pode haver interferências negativas que podem até ocasionar um declínio populacional e risco de extinção para algumas espécies.